Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Druckformen und Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein zur Klärung von Gebirgsdruckfragen

Von der

TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BRESLAU

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. GÜNTHER DOMMANN

aus Kohlfurt (Schlesien)

Referent: o. Professor Dr.-Ing. G. Spackeler

Korreferent: Dr. habil. W. Gründer

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juni 1936

Sonderabdruck aus den Heften 47 und 48 des Jahrgangs 1936
der Berg- und Hüttenmännischen Zeitschrift »Glückauf«.

Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Druckformen und Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein zur Klärung von Gebirgsdruckfragen

Von der
TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BRESLAU
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. GÜNTHER DOMMANN
aus Kohlfurt (Schlesien)

Referent: o. Professor Dr.-Ing. G. Spackeler
Korreferent: Dr. habil. W. Gründer

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Juni 1936

1936
Verlag Glückauf G. m. b. H.

*30809

Für die Anregung zu der vorliegenden Arbeit und für die vielfache Unterstützung während der Anfertigung sage ich hiermit meinem hochverehrten Lehrer und Chef, Herrn Professor Dr.-Ing. G. Spackeler, meinen herzlichsten Dank. Gleichzeitig möchte ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen für die Unterstützung, die ich bei der Herstellung der Probekörper von seiten des Herrn Professor Berrer und der Herren vom betonwissenschaftlichen Institut der Technischen Hochschule Breslau erfahren habe. Weiter danke ich Herrn Professor Mann für die Bereitstellung der großen Druckpresse.

In Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Die Arbeiten zur Klärung von Druckwirkungen und Bewegungsvorgängen in allseitig gespanntem Gestein, wie sie im Bergbau auftreten, erstrecken sich auf drei getrennte Gebiete, nämlich die Beobachtungen untertage, das Messen der Gebirgsbewegungen und die versuchsmäßige Nachahmung der natürlichen Verhältnisse. Den Ausgangspunkt bilden die bergmännischen Beobachtungen in der Grube, welche die wichtigsten Grundlagen für die Erkenntnis des Gebirgsverhaltens liefern. Die Vielheit der Erscheinungen führte hier zu teilweise einander widersprechenden Theorien, die aber mit der Zeit einen gewissen Ausgleich erfuhren. Durch die Zusammentragung der mannigfachen Beobachtungen konnte eine umfassende Darstellung von den auftretenden Spannungen und Drücken sowie deren Auslösungsformen gegeben werden.

Zum Nachweis der Richtigkeit dieser Theorien sind aber noch eingehende Messungen und Versuche erforderlich. So sucht man durch markscheiderische Aufnahme der Bewegungsvorgänge über- und untertage die Auswirkungen des Bergbaus in Form von Zerr- und Druckzonen zu bestimmen, um daraus auf die Verteilung von Spannung und Druck zu schließen. Das dritte Gebiet ist die von Seidl[1] eingeleitete Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Gesteine im Rahmen der Materialprüfung, die für die verschiedenen mechanischen Beanspruchungen die entsprechenden kennzeichnenden Bruch- und Bewegungsvorgänge erkennen läßt und mit der Übertragung der Ergebnisse auf die Erscheinungen in der Natur einen wertvollen Beitrag zu der Erkenntnis der Bewegungsvorgänge und der zugrunde liegenden mechanischen Beanspruchungen bietet.

Bei der Heranziehung dieser Forschungsergebnisse zur Klärung der Erscheinungen im Bergbau stellt man insofern noch eine Lücke fest, als sich die Materialprüfung vorwiegend mit der Bestimmung der Eigenschaften bei atmosphärischem Gegendruck befaßt, während die Gesteine in bergmännischer Teufe unter einem allseitigen Spannungszustand stehen, der ihre Eigenschaften wesentlich verändert. Diese Änderung der Festigkeitseigenschaften mit dem Spannungszustand ist seit langem bekannt, jedoch stehen die praktischen Versuche zur Nachbildung der Verhältnisse im Bergbau durch die Materialprüfung noch in den Anfängen. Die vorliegende Arbeit soll in dieser Hinsicht eine Ergänzung bringen.

Für die Hauptuntersuchungen wurden Kunststeine verwendet, weil es nachzuweisen galt, daß die Ausbildungsformen um Hohlräume in allseitig gespanntem Gestein allgemeingültige Erscheinungen darstellen, die von der Gesteinsbeschaffenheit nur in gewissen Grenzen beeinflußt werden. Die Verwendung von Kunststeinen ermöglicht die Herstellung von Probekörpern mit ganz bestimmten Eigenschaften und bedeutet zugleich eine erhebliche Vereinfachung, da es wirtschaftlich kaum möglich ist, die für derartige Reihenversuche benötigten zahlreichen Probekörper aus Natursteinen herauszuarbeiten. Die an Kunststeinen ermittelten Hauptergebnisse wurden durch vergleichende Versuche an Natursteinen nachgeprüft.

Zur Herstellung der Probekörper diente in allen Fällen Portlandzement »Zenith I«, dem Odersand (Quarzsand) von verschiedener Korngröße zugemischt wurde. Man stellte folgende Steine her:

Beton	Zuschlag	Mischung	Festigkeit kg/cm²
I	Normsand	1 : 3	325
II	Sand 0–1 mm	1 : 1	443
III	Sand 1–3 mm	1 : 1	516
IV	Staub	1 : 1	397
V	Würfel aus reinem Zement		605

Die Festigkeitswerte geben die mittlere Bruchfestigkeit von fünf Versuchen an. Die mit Zumischung von Sand hergestellten Würfel haben sandsteinähnliche Beschaffenheit, während die aus Gesteinstaub und reinem Zement mehr die Eigenschaften eines harten Mergels aufweisen. Die Untersuchungen sind im bergmännischen Laboratorium der Technischen Hochschule Breslau ausgeführt worden.

Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Steine.

Elastisches und plastisches Verhalten.

Neben der bereits angeführten Bruchfestigkeit bieten die elastischen Eigenschaften eine Möglichkeit zur Kennzeichnung der verschiedenen Gesteine. Für die Prüfung wurden von den einzelnen Betonsorten Prismen von $10 \times 10 \times 20$ cm Größe hergestellt und diese zwischen Preßbacken einem einseitig wirkenden Druck ausgesetzt. Mit Hilfe des Martenschen Spiegelgerätes maß man dabei die Längenänderung in Abhängigkeit vom aufgewendeten Druck und die bleibende Längenänderung nach völliger Entlastung. Die Versuchsergebnisse veranschaulicht Abb. 1 im Vergleich mit Natursteinen. Die Belastungskurven der Sandbetonsteine 1–3 liegen dicht zusammen. Ein von Müller[1] untersuchter Karbonsandstein aus dem Liegenden des Schuckmannflözes zeigt einen ganz ähnlichen Kurvenverlauf wie diese. Die Schaulinien

[1] Seidl: Bruch- und Fließformen der technischen Mechanik und ihre Anwendung auf Geologie und Bergbau, Bd. 5, 1934.

[1] Müller: Untersuchungen an Karbongesteinen zur Klärung von Gebirgsdruckfragen, Glückauf 66 (1930) S. 1601.

der feinkörnigen Arten sind stärker geneigt trotz teilweise höherer Bruchfestigkeit. Ein von Wöhlbier[1] untersuchter Kupferschiefer weist eine ähnlich starke Neigung auf. Die bleibende Längenänderung nach der Entlastung ist bei den feinkörnigen Arten höher als bei den gröbern.

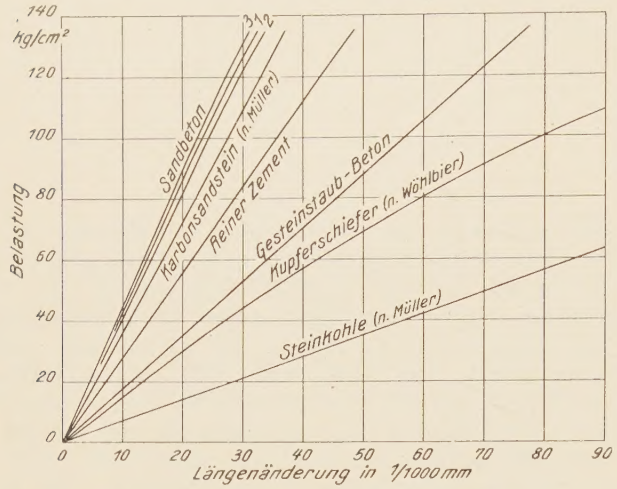


Abb. 1. Längenänderung der untersuchten Kunststeine in Abhängigkeit vom Belastungsdruck und Vergleich mit Natursteinen.

Bei den Versuchen ist allgemein festgestellt worden, daß durch die Belastung im Gestein Spannungen aufgespeichert werden, welche die Eigenschaften der Gesteine vorübergehend verändern und sich erst nach längerer Zeit verlieren. Ein Körper nimmt nach der Entlastung nicht sofort einen Dauerzustand an; er dehnt sich zunächst schnell aus und erreicht erst nach längerer Zeit einen gleichbleibenden Wert (Abb. 2). Wird ein Probekörper nach längerer Belastung nur teilweise entspannt, so tritt unter geringer Ausdehnung eine Steigerung des eingestellten Belastungsdruckes ein (Abb. 3). Daraus ergibt sich, daß die Abgabe der innern Spannungen der äußern Entspannung nachhinkt, wenn diese eine gewisse Geschwindigkeit erreicht. Neben dem äußern meßbaren Spannungszustand müssen im Gestein noch andere Spannungen wirksam sein, welche die Bewegungsvorgänge bei Belastung und Entlastung äußerst verwickelt gestalten.

Diese Feststellung über das Auftreten von Restspannungen im Gestein und die Art ihrer Abgabe hat

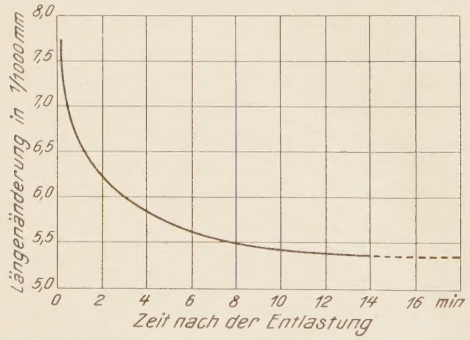


Abb. 2. Ausdehnung eines Probekörpers nach der Entspannung
(Beton II, Belastung 140 kg/cm², Einwirkungsdauer 1 h).

[1] Wöhlbier: Versuche an Gesteinen der Zechsteinformation zur Klärung von Gebirgsdruckfragen im Mansfelder Kupferschieferbergbau und im Kalibergbau, Kali 25 (1931) S. 167.

für den Bergbau eine gewisse Bedeutung. Auch hier gelangen die Schichten kurz vor dem Abbaustoß in eine Zone erhöhten Druckes und erfahren dabei eine Zusammenpressung. Bei fortschreitendem Abbau werden diese Druckkräfte ausgelöst. Die Schichten können sich wieder entspannen und bis auf den Grad der bleibenden Längenänderung in den alten Zustand zurückkehren. Die Entspannungsgeschwindigkeit steht dabei in Abhängigkeit vom Abbaufortschritt und wird in den einzelnen Fällen verschieden sein. Von Bedeutung ist hier die Frage, wie tief die Zone erhöhten Druckes im festen Stoß liegt. Je weiter sie dem Abbau voranschreitet, desto allmählicher wird die Entspannung vor sich gehen; umgekehrt wird bei geringmächtigen Flözen mit dicht an der Abbaufront liegender Druckzone und schnellem Verhieb die Entspannungsdauer kurz sein und die Möglichkeit bestehen, daß die Ausdehnung des Gesteins einen merklichen zusätzlichen Druck auf die vordern Teile des Kohlenstoßes ausübt. Messungen haben ergeben, daß die Steilbewegungen am stärksten während der Kohlengewinnung in Erscheinung treten, während in der Zwischenschicht und an Ruhetagen nur geringe Steilbewegungen von Firste und Sohle beobachtet werden. Die Senkung tritt bei einem Abbaufortschritt von zwei Feldern je Schicht deutlicher hervor als bei einem Feld je Schicht. Diese Ergebnisse sowie der schlechte Gang der Kohle nach einer Unterbrechung des täglichen Arbeitsverlaufes können dabei als Begründung für die Annahme einer elastischen Nachwirkung gelten.

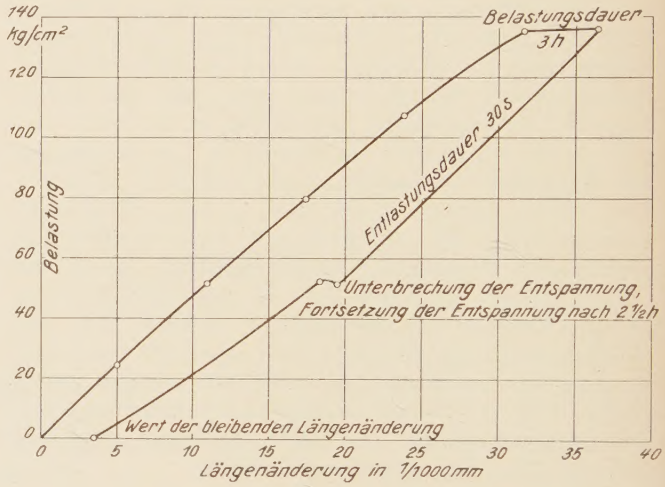


Abb. 3. Drucksteigerung durch Restkräfte bei unterbrochener Entlastung.

Scherfestigkeit.

Neuerdings wird auch die Scherfestigkeit der Gesteine zur Erklärung der Abbauwirkungen herangezogen. Dinsdale[1] hat damit die verschiedene Ausbildung von Gewölben erklärt. Im folgenden wird die Abhängigkeit der Scherfestigkeit vom Spannungszustand untersucht, und zwar nicht nach den dafür bestehenden Normen, da diese eine Prüfung der Scherfestigkeit bei verschiedenem Seitendruck nicht vorsehen, sondern nach einem eigenen Meßverfahren, das für die einzelnen Versuche gute Vergleichsmöglichkeiten bietet (Abb. 4). Die Gesteinplatten

[1] Dinsdale: Ground pressures and pressure profiles around mining excavations, Coll. Engng. 12 (1935) S. 406, 13 (1936) S. 19; Glückauf 72 (1936) S. 640; Kohle u. Erz 33 (1936) Sp. 121.

werden in drei Versuchsreihen geprüft, nämlich 1. frei, d. h. ohne einen besondern Seitendruck, 2. in der Stahlform mit durch Weichholzbeilagen beschränktem Seitendruck und 3. in der Stahlform mit vollem Seitendruck.

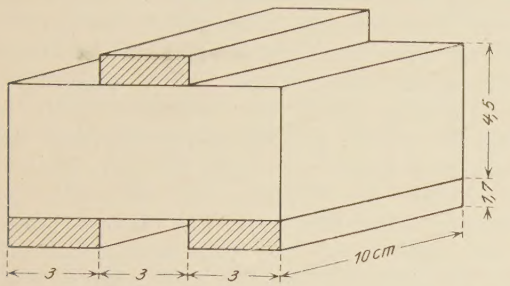


Abb. 4. Versuchsanordnung für die Scherversuche.

Der Seitendruck bei den Anordnungen 2 und 3 wird nur auf die parallel zu den Scherflächen verlaufenden Seiten ausgeübt. Man vermeidet dabei, daß irgendwelche Reibungskräfte auftreten, die ein falsches Bild von der reinen Scherfestigkeit geben würden, muß aber in Kauf nehmen, daß sich vorn und hinten am Probekörper dünne Schalen ablösen und der zu scherende Querschnitt somit etwas verringert wird. Der Seitendruck läßt sich dabei größenordnungsmäßig nicht bestimmen und daher auch die Abhängigkeit zwischen Scherfestigkeit und Seitendruck nicht nachweisen. Für den Bergbau ist es aber am wichtigsten, wenn das veränderte Verhalten allgemein geklärt wird, da auch hier die auftretenden Seitenkräfte unbestimmt sind und je nach den Verhältnissen wechseln. Über die Scherfestigkeit unterrichten die in der Zahlentafel 1 zusammengestellten Werte.

Zahlentafel 1. Scherfestigkeit in Abhängigkeit vom Seitendruck.

Gesteinsart	Scherfestigkeit		
	ohne Seitendruck kg/cm²	mit beschränktem Seitendruck kg/cm²	mit vollem Seitendruck kg/cm²
Beton I . .	30	50	67
Beton II . .	63	100	140
Beton III . .	53	157	205
Beton IV . .	60	115	142
Beton V . .	64	123	164

Als Hauptergebnis der Untersuchungen ersieht man daraus eine Zunahme der Scherfestigkeit mit steigendem Seitendruck. Weiter läßt sich eine Änderung in der Ausbildungsart der Scherflächen beobachten. Bei dem Versuch ohne Seitendruck bilden

Abb. 5. Ausbildung der Scherflächen bei Abscherung ohne Seitendruck.

sich unter scharfem Knall — die Heftigkeit hängt von der Festigkeit des Gesteins ab — senkrechte Scherflächen aus. Die einzelnen Bruchstücke werden dabei ein Stück weit weggeschleudert (Abb. 5). Bei den Versuchen mit Seitendruck entwickeln sich über den Hohlformen unter allmählichem Eindrücken der Scherplatten in die Gesteinschicht Gewölbelinien. Die Abscherung erfolgt zunächst nicht auf senkrechten, sondern auf je zwei schräg stehenden Scherflächen (Abb. 6). Erst bei sehr hohen Drücken entstehen neue senkrechte Scherflächen, auf denen dann die gegenseitige Bewegung stattfindet. Bei freiem Abscheren erfolgt der Bruch, bevor sich die Platten in den Probekörper einpressen können. Bei der Abscherung unter Seitendruck bleibt der Zusammenhang der einzelnen gegeneinander verschobenen Stücke selbst nach Herauslösung aus der Form bestehen. Es tritt somit neben der Zermürbung auf den Bewegungsflächen zugleich wieder eine Verfestigung infolge des seitlichen Druckes ein.

Abb. 6. Ausbildung von Gewölbe und schrägen Scherflächen bei Abscherung unter vollem Seitendruck.

Nach Dinsdale ist eine Beziehung zwischen der Gewölbebildung und der Scherfestigkeit der Gesteine vorhanden, indem die Scheitelhöhe des Gewölbes im umgekehrten Verhältnis zur Scherfestigkeit steht. Dieses Gesetz kann für verschiedene Gesteine nur bei gleicher Belastung volle Gültigkeit haben; in festem Gestein bildet sich unter sonst gleichen Bedingungen ein flacheres Gewölbe aus als in weichem. Bei gleichem Gestein müßte infolge der nachgewiesenen Abhängigkeit der Scherfestigkeit vom Spannungszustand in größerer Teufe ein flacheres Gewölbe entstehen. Die Versuche und auch die Beobachtungen in der Natur zeigen aber, daß bei steigender Belastung, d. h. bei zunehmender Teufe, die Scheitelhöhe des Gewölbes ebenfalls ansteigt. Der Belastungsdruck beeinflußt die Gewölbebildung damit stärker als eine etwas höhere Scherfestigkeit. Während diese hierbei nur eine untergeordnete Rolle spielt, wird sie bei der Ausbildung von Bewegungsflächen infolge einer Scherbeanspruchung über dem Abbaustoß und bei der Bildung von Scherflächen einen entscheidenden Einfluß ausüben.

Untersuchungen über die Wirkung von Druckformen und Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein.

Als erste Untersuchungen zu dieser Frage können die Lochversuche von Adams[1] gelten, die man oft als Beispiel für die Bildung einer Trompeterschen Zone herangezogen hat. Neuere Arbeiten stammen

[1] Adams: An experiental contribution to the question of the depth of the zone of flow in the earths crust, J. Geol. 20 (1920) S. 107; Glückauf 66 (1930) S. 1603, Abb. 1.

von Müller[1], Wöhlbier[1] und Spackeler[2]. Von den beiden Erstgenannten sind die Bewegungsvorgänge und Rißbildungen beim Pressen von eingespannten Würfeln mit einer freien Fläche geprüft worden. Spackeler hat in einer geschlossenen Stahlform Würfel gepreßt, unter denen Platten mit quadratischem Ausschnitt in der Mitte gebettet waren, wodurch die Verhältnisse eines verkleinerten Abbaufeldes nachgebildet wurden. Beim Pressen wird die Bildung von Gewölben über der Hohlform beobachtet. Die Versuche erstrecken sich auf den Nachweis dieser Gewölbebildung und stellen eine Verbindung mit den Beobachtungen in der Natur her. Sie bilden damit die Grundlage für weitere Forschungen und den Ausgangspunkt für die vorliegenden Untersuchungen, die zur Klärung der um Druck und Hohlformen auftretenden Kräfte und Bewegungsvorgänge beitragen sollen.

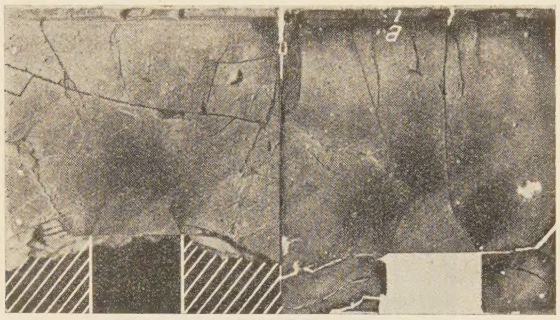
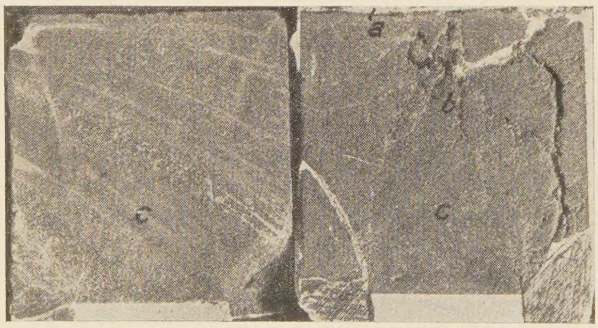


Abb. 7. Bildung eines festen Kernes über der Druckplatte. Der Versuch rechts mit der weichen Zwischenschicht *a* zeigt trotz geringerer Einpressung eine tiefergehende Zerstörungszone (dunkle Schatten) als der Versuch links.

Wirkung von Druckformen.

Die nachstehend behandelten Versuche ahmen die Einwirkungen von Druckformen nach, wie sie in der Natur bei Sicherheits- und Restpfeilern und im Streb vorkommen. In den allseitig eingespannten Probekörper werden kleine Platten, die einen Restpfeiler darstellen sollen, von unten oder von oben her eingepreßt. Bei der Einpressung zeigt sich ganz allgemein die Bildung eines festen Kernes über der Druckplatte, der durch schräge Flächen begrenzt ist (Abb. 7). Diese Erscheinung läßt darauf schließen, daß sich über der Druckform eine keilförmige Zone gleichmäßig stark beanspruchten Gesteins bildet. Der Übergang gegen das Gebiet geringerer Pressung ist durch eine Zerstörung des Gefüges infolge der stattfindenden Bewegung gekennzeichnet. Die Gefügezerstörung tritt in einem begrenzten Umkreis auf, der sich um den festen Kern herumlegt; sie erfährt eine Änderung, wenn über dem Würfel auf der Gegenseite der Preßplatte eine weiche Schicht eingefügt wird. Die Zerstörung greift hier erheblich tiefer in das Gestein bis an die gegenüberliegende Seite, auf der Sprünge und Risse auftreten. Bei dem Versuch mit fester Auflage des Würfels wird stets eine geringe Zerstörung beobachtet (Abb. 8). Dieser Unterschied läßt sich nur durch die Einwirkung der weichen Zwischenschicht erklären, da die äußern Versuchsbedingungen für beide Versuche völlig übereingestimmt haben.



a weiche Zwischenschicht, b Zerstörungszone, c Kern.

Abb. 8. Stärkere Gefügezerstörung bei weicher Zwischenschicht *a* gegenüber dem Versuch links mit fester Auflage (Belastung 3900 kg/cm²).

[1] a. a. O.

[2] Spackeler: Gewölbebildung über Abbauen, Glückauf 70 (1934) S. 589.

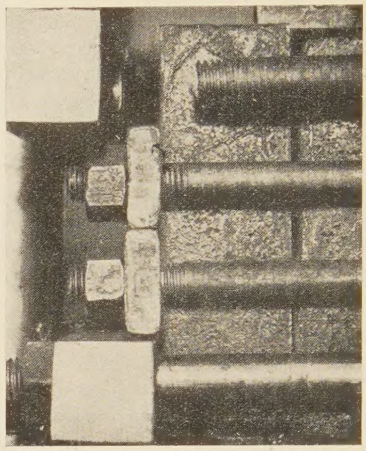


Abb. 9. Abreißen der Verschraubung infolge seitlicher Ablenkung der Kräfte bei Verwendung einer weichen Schicht.

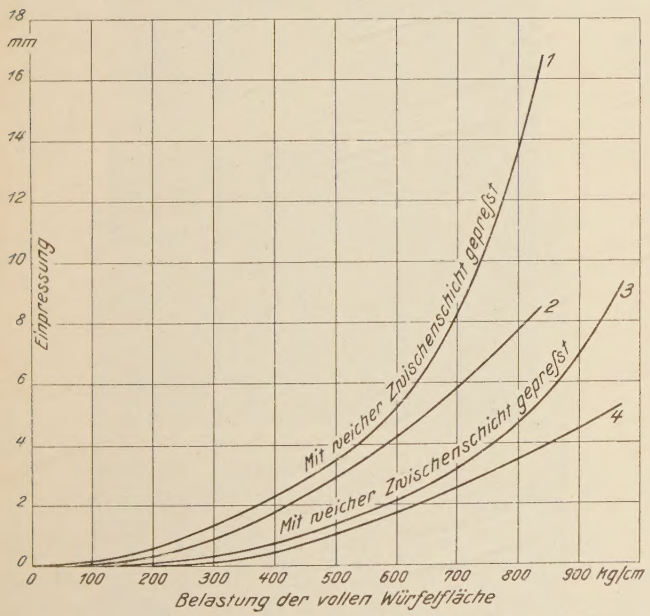
Neben den Abweichungen in der Ausbildung des festen Kernes über der Druckplatte und der Zerstörungszone um diesen sind rein äußerlich noch andere bemerkenswerte Unterschiede zwischen den Versuchsergebnissen bei fester Auflage und bei Einschaltung einer weichen Schicht zu erkennen. Besonders auffällig ist beim Pressen mit weicher Schicht das Auftreten starker seitlicher Kräfte im Probekörper, die sich an der Dehnung der zum Anpressen der losen Formseite dienenden Schraubenbolzen be-

a weiche Zwischenschicht.

Abb. 10. Zerstörung der Teile um den Preßstempel durch starke senkrechte Gegenwirkung. (Belastung links etwa doppelt so groß wie rechts).

merkbar machen. Diese Seitenkräfte sind außerordentlich stark. Abb. 9 läßt erkennen, wie trotz einer vierfachen Verschraubung mit Bolzen aus ¾"-Wellenstahl eine Dehnung eingetreten ist, die zum Bruch der Bolzen geführt hat. Die Berechnung ergibt für die Abpressung der losen Formseite eine Kraft von 15 bis 20 t, das ist etwa ein Viertel der gesamten aufgewendeten Belastung. Im Vergleich mit den folgenden Untersuchungen über Gewölbebildung sei bemerkt, daß dabei die mittlern schwachen Verschraubungen genügt haben, um die seitlichen Kräfte aufzunehmen, obwohl der Belastungsdruck zum Teil noch höher gewesen ist. Bei den Versuchen mit fester Auflage der Probekörper liegen die Seitenkräfte ebenfalls niedriger. Im Gegensatz zu der seitlichen Ablenkung der Druckkräfte durch eine weiche Schicht treten hier senkrechte Kräfte auf, die an der durch die Gegenwirkung hervorgerufenen Zerstörung der Teile um den Preßstempel herum in Abb. 10 wahrzunehmen sind.

Die weiche Zwischenschicht hat ferner eine Veränderung in der Einpressungstiefe zur Folge, woraus man ersehen kann, wieweit der Einfluß einer derartigen Zwischenschicht geht. Bei allen Versuchen mit weicher Schicht ergibt sich eine erheblich höhere Einpressung gegenüber der festen Auflage. Abb. 11 zeigt für einen Versuch die Abhängigkeit der Einpressung von der Belastung. Ein ähnliches Bild haben sämtliche andern untersuchten Steine ergeben. Bei niedrigen Drücken verlaufen die Kurven zunächst dicht zusammen. Die Einpressung ist bei dem Versuch mit weicher Schicht nur wenig höher; sie steigt aber mit zunehmender Belastung schneller als bei der festen Auflage, so daß sich die Kurven immer weiter voneinander entfernen.



1 und 2 Beton I, 3 und 4 Beton II.

Abb. 11. Abhängigkeit der Einpressung von der Belastung.

Aus den Versuchen geht hervor, daß um Druckformen in allseitig gespanntem Gestein eine keilförmige Zone erhöhter Druckbeanspruchung auftritt, die durch eine Übergangszone von den entspannten Teilen getrennt ist. In der Übergangszone finden der Druckausgleich und die stärkste Bewegung statt. Bei der Zwischenlagerung einer weichen Schicht zeigt sich eine stärkere seitliche Druckwirkung und eine weitergehende Zerstörung des gesamten Gesteinsgefüges. Bei hohen Drücken tritt der Einfluß der weichen Schicht deutlicher hervor. Die Erscheinungen sind beim Einpressen der Druckform in den Probekörper von oben und von unten her, also im Hangenden und im Liegenden gleich.

Wirkung von Hohlformen

Die Untersuchungen schließen an die Spackelerschen Versuche an und erstrecken sich auf die Prüfung folgender Fragen:

1. Wie verhält sich ein Gestein, wenn sich das Gewölbe vollständig herausgelöst hat und der Druck weiter gesteigert wird?
2. Lassen sich die Versuchsergebnisse bei Anwendung einer quadratischen Lochplatte, die ein verkleinertes Abbaufeld darstellen soll, ohne weiteres auf die Verhältnisse einer Strebfront mit festem Stoß und nachgiebigem Versatz übertragen, und welche Unterschiede ergeben sich dabei?
3. Welche Beziehungen bestehen zwischen den Druckwirkungen im Hangenden und im Liegenden?
4. Welche Veränderungen treten bei der Zwischenlagerung weicher Schichten auf?

Für die Fragen 3 und 4 geben die vorstehenden Versuche bereits einen Anhalt; die weitern Untersuchungen dienen hier zur Erweiterung und Bestätigung der angestellten Beobachtungen. Der Würfel wird vollständig in die Stahlform eingeschlossen und als Hohlform eine durch die Stahlform laufende Rinne benutzt, die durch eingelegte schmale Platten gebildet wird. Für die beiden Seiten wählt man Eisen oder nachgiebige Stoffe (Gummi, Holz), um die verschiedenen Verhältnisse nachzuahmen.

Abb. 12. Ausbildung von zwei übereinanderliegenden Gewölben bei steigender Belastung.

Zunächst galt es, die Art der Gewölbebildung bei steigendem Druck zu untersuchen. Die Hohlform bestand dabei aus gleich starken Eisenplatten, die ähnlich wie die untern Platten bei den Scherversuchen auf den Boden der Stahlform gebettet waren. Die Versuche zeigen, daß bei steigender Belastung die Scheitelhöhe des Gewölbes höher in das Gestein wandert. Es bilden sich übereinanderliegende Gewölbelinien aus (Abb. 12). Versuche mit zwei nachgiebigen Platten ließen ebenfalls die Gewölbezonen erkennen, jedoch nicht in dem ausgeprägten Maße wie die vorhergehenden, weshalb von weitern Versuchen dieser Art Abstand genommen wurde.

Neben den Gewölbelinien zeigt sich auch bei diesen Versuchen die Ausbildung eines festen Kernes über der Druckform. Beide Vorgänge erfolgen meist gleichzeitig. Abb. 13 veranschaulicht einen derartigen Druckkern über der starren Platte und die Ausbildung eines Gewölbes über dem freien Teil an der rechten Seite.

Abb. 13. Bildung eines Druckkeiles über der starren Platte und eines Gewölbes über der Hohlform.

Zur Frage 2 ergibt sich zunächst allgemein, daß grundsätzliche Unterschiede zwischen den Einwirkungen einer quadratischen Hohlform und der hier verwendeten Rinne nicht bestehen. Beide Versuchsanordnungen lassen die gleiche Ausbildung von Gewölben erkennen. Da die Unterstützung auf beiden Seiten durch starre Platten erfolgt, werden die Verhältnisse in der Natur nur so lange gelten, wie hier kein Versatz vorhanden ist, d. h. bei Neubeginn eines Feldverhiebs bis zum Eintreten des ersten Hauptdruckes. Um den natürlichen Verhältnissen eines länger betriebenen Strebs besser Rechnung zu tragen, habe ich bei den folgenden Versuchen die eine Seite starr und die andere nachgiebig gestaltet. Die feste Platte besteht aus Eisen und die nachgiebige aus Pflaumenholz. In dieser Anordnung sind verschiedene Steine auf ihr Verhalten untersucht worden, wobei sich überall die gleichen Erscheinungen beobachten ließen. Von der innern Kante der starren Platte aus bilden sich, nach oben auseinanderlaufend, zwei schräge Flächen, deren Neigung durch die Eigenschaft des Gesteins bestimmt wird (Abb. 14). Beim Vergleich dieser Flächen mit den Ergebnissen der Scherversuche zeigt sich eine Übereinstimmung in der Art der Ausbildung, so daß für die Entstehung dieser Flächen eine Scherbeanspruchung des Gesteins angenommen werden kann. Über der Hohlform bildet sich ein Gewölbe aus, das von der innern Kante der starren Platte zunächst steil nach oben verläuft und sich dann in flachem Bogen auf die Holzplatte legt (Abb. 15).

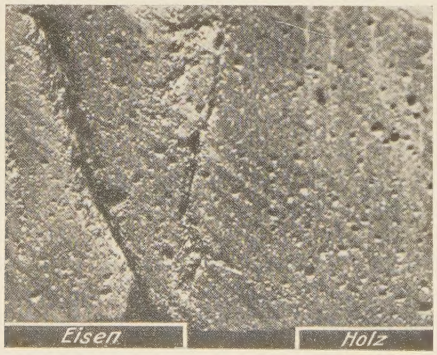


Abb. 14. Scherflächen und flach verlaufendes Gewölbe bei einem festen Sandstein (Belastung 1200 kg/cm²).

a Holz, b Eisen, c keilförmige Druckzone.

Abb. 15. Gewölbebildung bei Verwendung einer starren (rechts) und einer nachgiebigen Platte.

Aus den Versuchen geht hervor, daß für die Ausbildung eines Gewölbes weniger die Form des Hohlraumes als die Beschaffenheit der Schichten um die Hohlform herum ausschlaggebend ist. Haben die Unterstützungsflächen verschiedene Eigenschaften, so wird auch das Gewölbe in seiner Form verändert. Bei Nachgiebigkeit der Unterstützungsfläche legt sich die Gewölbelinie flach auf diese; je fester die Schicht ist, desto steiler verläuft die Gewölbelinie.

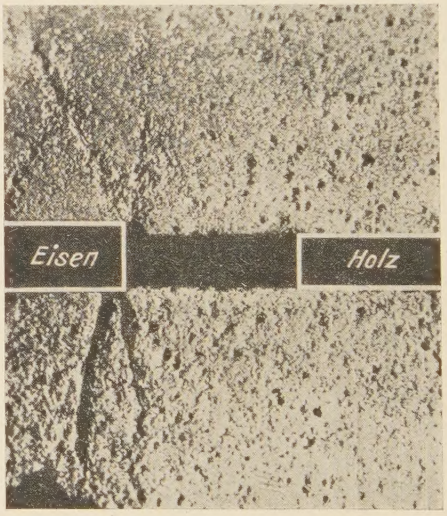
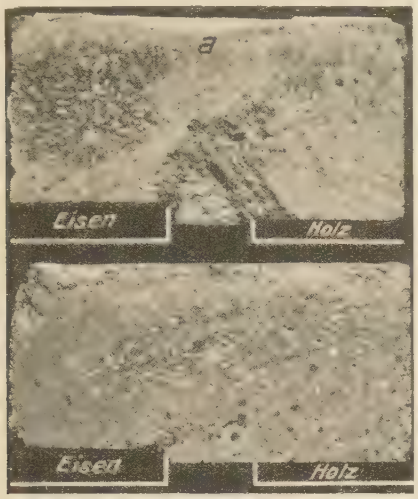


Abb. 16. Gleiche Ausbildung der Scherflächen in der hangenden und in der liegenden Schicht.

Zur Erforschung der Druckwirkungen im Liegenden sind entsprechende Versuche bei Einschaltung der Eisen- und Holzplatten zwischen zwei gleichen Gesteinschichten durchgeführt worden, wobei sich keine wesentlichen Änderungen ergeben haben. Auch in der untern Platte bilden sich die beiden Scherflächen aus (Abb. 16), und es tritt hier die gleiche Gewölbebildung wie in der obern Platte ein. Damit kann gesagt werden, daß grundsätzliche Unterschiede zwischen den Druckwirkungen im Hangenden und Liegenden der Schichten nicht bestehen.

Die Versuche zur Bestimmung der Einwirkungen einer weichen Schicht auf die Ausbildung der Gewölbelinien wurden unter übereinstimmenden Bedingungen

(gleichem Druck und Gestein) in der bisherigen Versuchsanordnung mit Zwischenschaltung einer nachgiebigen Schicht über und unter den Gesteinplatten vorgenommen. Als nachgiebige Schicht diente Holz, das den Vorteil aufweist, die erfahrene Formänderung beizubehalten und sie dadurch kenntlich zu machen.



a Absenkung.

Abb. 17. Gegenüberstellung eines Versuches mit Druckübertragung durch eine weiche Schicht (oben) und eines Versuches mit fester Auflage (unten) bei gleicher Belastung (obere Platten).

Die Versuche fanden wieder mit den verschiedenen Steinen statt. In Übereinstimmung mit den bisherigen Beobachtungen zeigte sich in allen Fällen die Bildung von Scherflächen und Gewölbelinien in der hangenden und liegenden Schicht. Die Gegenüberstellung zweier gleicher Versuche mit und ohne Zwischenschicht läßt aber einen grundsätzlichen Unterschied erkennen, der bei sämtlichen Versuchen in gleicher Weise in Erscheinung tritt. Er besteht wie bei den Einpreßversuchen in der tiefergreifenden Einwirkung auf das Gestein. Bei fester Auflage der Schichten sind die Zerstörungsformen nur schwach ausgeprägt, und das Gesteinsgefüge ist ziemlich unverändert geblieben, während sich bei der Druckübertragung durch weiche Zwischenschichten sehr hohe Gewölbelinien bilden (Abb. 17). Zwischen den Scherflächen findet ein schräger Übergang an der Oberfläche der Steinplatte statt, der anzeigt, daß hier die Bewegung am stärksten ist (Abb.18). Die Absenkung der Oberfläche läßt sich auch bei nicht deutlich wahrnehmbarer Ausbildung der Scherflächen erkennen. Die innern Bewegungsvorgänge reichen somit weiter in das Gestein, als es dem sichtbaren Auftreten von Rissen und Gefügezerstörungen entspricht.

a Kiefernholz, 10 mm, b Rohgummi, 3 mm.

Abb. 18. Ausbildung von Scherflächen und tiefgreifenden Gewölbelinien bei der Druckübertragung durch weiche Schichten.

a Kiefernholz, 10 mm, b Eisen, Hartholz, Eisen, c Kiefernholz, 9 mm.

Abb. 19. Druckwirkung bei Einlagerung der weichen Schicht zwischen zwei Gesteinplatten.

Ein gleiches Verhalten wie bei der Auflage der weichen Schicht zeigt sich bei deren Zwischenschaltung zwischen die Gesteinplatten (Abb. 19). Auch hier beobachtet man neben den Scherflächen die Ausbildung eines Gewölbes, das bis in die weiche Zwischenschicht hineingreift. Ferner erfolgt eine Absenkung unter Veränderung der Mächtigkeit der Zwischenschicht entsprechend einer zusätzlichen Pressung. Die Versuche beweisen allgemein, daß die Druckwirkungen nicht nur durch die unmittelbaren, sondern auch durch die Nachbarschichten weitgehend beeinflußt werden.

Druckversuche an Natursteinen.

Als Abschluß der Untersuchungen seien noch die Ergebnisse einiger Versuche an Natursteinen angeführt, die beweisen, daß es sich bei der Ausbildung von Gewölben um Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein um eine ganz allgemeingültige Erscheinung handelt, die von den Eigenschaften des betreffenden Gesteins nur in bestimmten Grenzen beeinflußt wird. Es wurden Steine mit ganz ausgeprägten Eigenschaften, wie Salz, Schiefer, Zechsteinkalke, Sandsteine, Quarzite und Granit, einer Prüfung in allseitig gespanntem Zustand unterzogen. Die Hohlform bildeten wie bei den Scherversuchen zwei schmale Stahlplatten auf dem Boden der Form. Trotz der Verschiedenheit der Gesteinsbeschaffenheit entstanden bei allen Gesteinen bei entsprechendem Druck übereinstimmend Gewölbe über der Hohlform. Im Kohlenschiefer ist die Bildung von übereinanderliegenden

Gewölbelinien besonders deutlich (Abb. 20). Die Versuche an Quarzit (Abb. 21) zeigen an der Absenkung der waagrechten Schichtfläche über der Hohlform, daß die innern Bewegungsvorgänge tiefer in das Gestein greifen als die sichtbare Gewölbebildung.

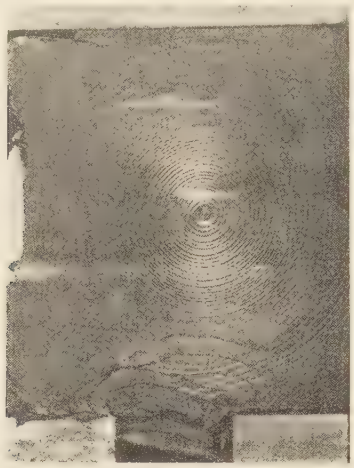


Abb. 20. Ausbildung von Gewölbelinien in Kohlenschiefer (die Kreise auf der Würfelfläche sind bei der Herstellung des Probekörpers entstanden).

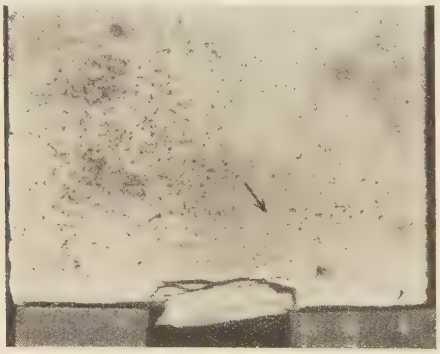


Abb. 21. Gewölbebildung in Quarzit mit Ablösung einer Schale aus der Gewölbezone.

Nach den an Sandstein durchgeführten Versuchen weist die Art der Gewölbebildung bei Natursteinen ähnliche Unterschiede auf, wie sie sich aus den vorhergehenden Untersuchungen ergeben haben. Auch hier zeigt sich der steile Verlauf der Gewölbelinie über der starren Platte und das flache Auflegen auf die weiche Schicht (Abb. 22). Die eingangs gemachten Feststellungen lassen sich demnach auf die natürlichen Gesteine und damit auf die Verhältnisse im Bergbau übertragen.

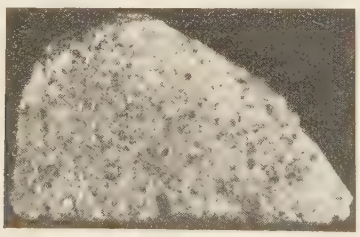


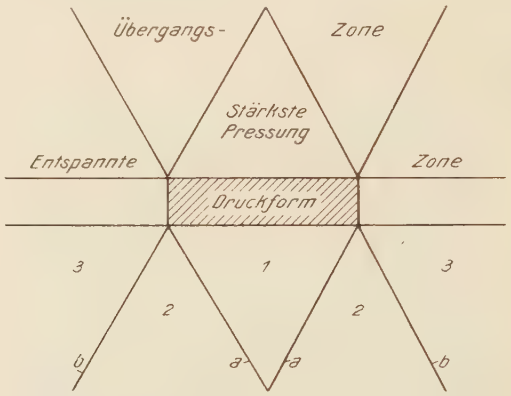
Abb. 22. Beim Pressen in Sandstein gebildeter Gewölbekern.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Aus den Untersuchungen über die allgemeinen Eigenschaften der Gesteine geht hervor, daß die Scherfestigkeit die gleiche Abhängigkeit vom Spannungszustand aufweist wie die Bruchfestigkeit, nämlich mit steigendem Seitendruck zunimmt. Die Prüfung der elastischen Eigenschaften gibt Aufschluß über die Aufspeicherung von Restspannungen im Gestein und die Art ihrer Auslösung. Durch die Restspannungen kann ein wirksamer zusätzlicher Druck erzeugt werden.

Als Hauptergebnisse der Untersuchungen im allseitig gespannten Gestein haben sich folgende drei Vorgänge nachweisen lassen: 1. Bildung von Zonen mit verschiedener Druckverteilung über einer Druckform, 2. Bildung von Gewölben über einer Hohlform und 3. Veränderung der Ausbildungsformen und der Druckwirkungen durch eine weiche Zwischenschicht.

Über einer Druckform bildet sich eine Zone erhöhter Pressung aus. Der Übergang zum entspannten Gestein erfolgt durch eine Zwischenzone und die Auslösung des Druckes zwischen diesen Zonen durch gegenseitige Verschiebung an Bewegungsflächen, die als Scherflächen anzusprechen sind. Die Wirkung einer Druckform zwischen zwei gleichen Schichten stimmt nach oben und unten hin überein. Für die Druckverteilung um eine Druckform ergibt sich aus den Versuchen schematisch etwa das in Abb. 23 wiedergegebene Bild.



Bewegungsflächen: a zwischen den Zonen 1 und 2, b zwischen 2 und 3.

Abb. 23. Druckverteilung um eine Druckform.

Um Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein bilden sich durchweg Gewölbe, die den Druck von den entspannten Flächen auf die festen Stöße übertragen. Die Form der Gewölbelinie wird bestimmt durch die Eigenschaften und den Aufbau der Schichten

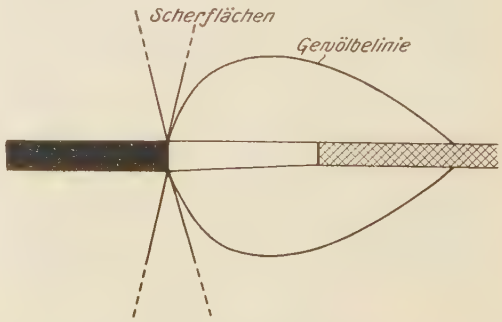


Abb. 24. Schematische Darstellung der Einwirkungen eines Abbaufeldes auf das Nebengestein.

und Auflageflächen sowie durch die herrschende Belastung. Mit steigender Belastung greift die Gewölbelinie höher in das Gestein; ebenso liegt der Gewölbescheitel bei weichen Schichten höher als bei harten und festen. Bei starren Auflageflächen trifft die Gewölbelinie steil auf deren Kante auf, während sie sich bei einer nachgiebigen Schicht in flachem Bogen tiefer hinter der freien Fläche auflegt. Die Gewölbebildung ist ebenfalls in der hangenden und liegenden Schicht gleich. Bei der Nachbildung eines Strebbaus mit festem Stoß und Versatz treten nach den Versuchen die durch Abb. 24 veranschaulichten Erscheinungen auf. Der feste Stoß wirkt dabei als Druckform und ruft an den innern Kanten die beschriebenen Scherflächen hervor.

Die Versuche mit Einlagerung einer weichen Schicht lassen für Druck- und Hohlformen in gleicher Weise eine tiefergreifende Einwirkung auf das Gestein erkennen. Bei den Versuchen über Druckformen zeigt sich dabei noch als bedeutsame Erscheinung eine Veränderung der auftretenden Gegenkräfte. Im Gegensatz zu den Versuchen mit fester Auflage treten hier äußerst starke Seitenkräfte auf, die in einer Richtung etwa ein Viertel und mehr der gesamten aufgewendeten Belastung ausmachen.

Auswertung der Versuchsergebnisse für den Abbau.

Den bei der versuchsmäßigen Nachbildung der natürlichen Verhältnisse festgestellten Erscheinungen entsprechen zahlreiche Beobachtungen in der Natur. Ihre Deutung und Nutzanwendung auf den Bergbau dürfte am besten an Hand einiger aus dem Schrifttum entnommener Beispiele erfolgen, die in Verbindung mit den daraus geschöpften Erkenntnissen zunächst kurz angeführt seien. Diese Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse mit den Beobachtungen in der Natur soll die Gleichheit der Erscheinungen nachweisen und darüber hinaus zur Klärung der Gebirgsdruckfragen beitragen.

Bergmännische Beobachtungen über die Wirkung von Druckformen.

Druckformen, wie sie beim Versuch durch starre Platten gebildet werden, treten in der Natur bei Rest- und Sicherheitspfeilern sowie im Streb über dem festen Stoß und dem festgepreßten Versatz auf. Um diese Druckformen bilden sich gleichfalls Zonen erhöhten Druckes, worauf zur Erklärung der Bewegungsvorgänge im Schrifttum bereits hingewiesen worden ist (Abb. 25)[1]. Innerhalb dieser Zonen wird durch die zusätzliche Pressung die Mächtigkeit der weichen Schichten (Flöze) verringert[2]. So ist zum Beispiel in Schachtsicherheitspfeilern eine Verkürzung der Schächte unter Zerstörung der Schachtzimmerung in der Höhenlage weicher Schichten beobachtet worden. Über die Form der Druckzonen läßt sich nach den

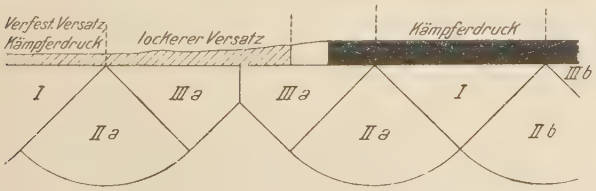


Abb. 25. Abgrenzung der Spannungszonen in der Sohle eines Strebs nach Spackeler.

[1] Spackeler: Druckwirkungen im Liegenden, Glückauf 66 (1930) S. 757.
[2] Spackeler: Druck auf den Kohlenstoß, Glückauf 65 (1929) S. 1753.

bisherigen Erkenntnissen folgendes sagen: Die Einwirkungen der Kante einer Druckform (Stoß usw.) verlaufen nicht senkrecht, sondern in einem gewissen Winkel zur Flözebene, der zwischen 50° bei weichen Schichten und 85° bei sehr festem Gestein schwankt[1]. Für eine ringsum begrenzte Druckform würde sich demnach die Zone stärkster Pressung keilförmig verjüngen. Zwischen der Zone stärkster Pressung und der entspannten in unmittelbarer Nähe des Hohlraums liegt ein Übergangsgebiet, in dem der Druckausgleich erfolgt und die stärkste Bewegung stattfindet. Die Bewegungszone ist nach außen hin an einer schrägen Absenkung der Oberfläche zu erkennen, die sich in der Natur in gleicher Weise wie beim Versuch beobachten läßt. Eine anschauliche Vorstellung von einer derartigen Druckverteilung bieten die Raumbilder von Eggert[2], die sich auf Beobachtungen und Messungen stützen und im Einklang mit den Versuchsergebnissen stehen (Abb. 26).

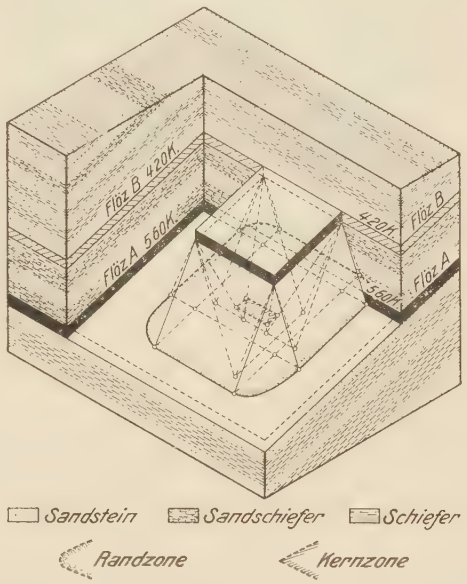


Abb. 26. Raumbildliche Wiedergabe keilförmiger Randzonen nach Eggert.

Die Versuche zeigen weiter, daß die Bewegung zum Druckausgleich an Scherflächen erfolgt, die sich spiegelbildlich von den Kanten der Druckform ablösen und die Begrenzungsflächen der einzelnen Zonen darstellen. In der Natur lassen sich an den Kanten eines Kohlenstoßes ebenfalls derartige Flächen an den Rissen im Nebengestein und im Flöz selbst nachweisen, die im Hangenden und Liegenden in gleicher Weise auftreten (Abb. 27[3]). Häufig wird die Beobachtung gemacht, daß diese Risse entweder in den Stoß hinein oder aus ihm heraus verlaufen, oder daß beide Richtungen ausgebildet sind[4]. Isselhorst[5] unterscheidet auf Grund seiner Beobachtungen drei Arten von Rissen: den Böschungsriß, das ist der im allgemeinen als Bruchwinkel bezeichnete Riß über dem

[1] Nieß: Gebirgsdruck und Grubenbetrieb unter besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaus, Z. Berg-, Hütt.- u. Sal.-Wes. 58 (1910) Abh. S. 428.
[2] Eggert: Über den Einfluß schädlicher Gebirgsspannungen im oberschlesischen Steinkohlenbergbau, Dissertation Berlin, 1935.
[3] Gillitzer: Wesen des Gebirgsdruckes und dessen Ausnutzung beim Mansfelder Bergbau, Glückauf 64 (1928) S. 1011, Abb. 14.
[4] Eisenmenger: Zusammenhang und Bedeutung der im Hangenden und Flöz auftretenden Risse, Glückauf 69 (1933) S. 330.
[5] Isselhorst: Aufgaben der Gebirgsdruckforschung im Ruhrbergbau, Bergbau 48 (1935) S. 113.

Kohlenstoß, den in entgegengesetzter Richtung verlaufenden Setzriß und den Kämpferdruckriß. Dinsdale[1] kommt zu der gleichen Schlußfolgerung; Abb. 28[2] zeigt die nach seiner Ansicht bestehenden Einwirkungen eines Abbaus, die sich durchaus mit den Versuchsergebnissen decken.

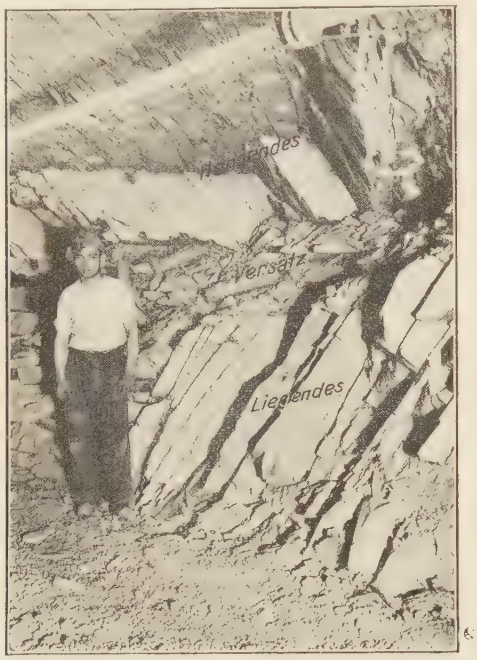


Abb. 27. Bildung von Scherflächen im Hangenden und Liegenden nach Gillitzer.

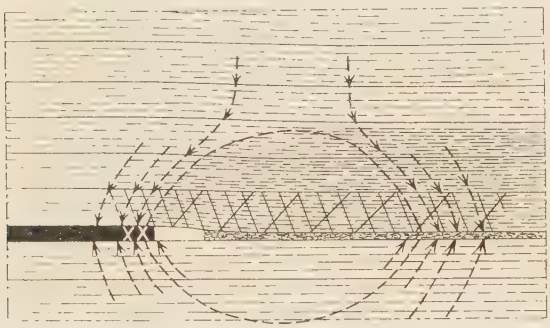


Abb. 28. Einwirkungen eines Abbaufeldes auf das Gebirge nach Dinsdale.

Ausbildung von Gewölbelinien.

Die Versuche haben gezeigt, daß um Hohlformen im allseitig gespannten Gestein geschlossene Gewölbe entstehen. Im Bergbau ist für streckenförmige Querschnitte die Ausbildung eines geschlossenen Gewölbes (Trompetersche Zone) heute allgemein anerkannt; sie läßt sich bei der Erweiterung von Streckenquerschnitten immer wieder beobachten. Für den Abbau hat sich eine derartige Auffassung noch nicht restlos durchgesetzt, obwohl sie starken Anspruch auf Wahrscheinlichkeit besitzt. Ein einwandfreier Beweis für eine solche Gewölbebildung läßt sich nur durch Feststellung einer entsprechenden Rißbildung erbringen. Daß eine derartige Rißbildung sichtbar hervortreten kann, ist aus den angeführten Beobachtungen von Gillitzer zur Genüge bekannt. Eine Gewölbebildung ist jedoch nicht abzulehnen, wenn diese sichtbaren Anzeichen nicht vorhanden sind, denn in den meisten Fällen deuten die Begleiterscheinungen, wie der zusätzliche Druck und die entspannten Kernzonen, auf das Vorliegen solcher Gewölbe hin. Die Versuche können zur weitern Klärung dieser Frage herangezogen werden.

Bei der Übertragung der Versuchsergebnisse auf den Bergbau muß berücksichtigt werden, daß die Kohle eine gewisse Zusammendrückbarkeit aufweist[1]. Die Gewölbelinie wird daher nicht wie bei der völlig starren Platte steil von der Kante des Stoßes aus verlaufen, sondern mit dem Maße der Zusammendrückbarkeit tiefer in diesen hinein wandern. Derartige Beobachtungen über das Vorauseilen des zusätzlichen Druckes sind im Schrifttum häufig angeführt worden, zuerst von Boileau[2], der bereits vor 10 Jahren über die dem Stoß vorausgreifenden Einwirkungen berichtet hat. Je mächtiger eine Schicht ist, desto größer ist das Maß ihrer Zusammendrückbarkeit, und desto tiefer muß die Gewölbelinie in den Stoß hinein wandern. Die Beobachtungen untertage bestätigen diese Annahme; sie zeigen, daß bei schwachen Flözen der Druck nahe am Stoß liegt, während er bei den mächtigen oberschlesischen Flözen erst weit hinter der Kohle festgestellt wird. Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß der Augenschein zwar nicht immer mit Sicherheit die Ausbildung eines Gewölbes um einen Abbau erkennen läßt, die Begleiterscheinungen jedoch meist deutlich dafür sprechen.

Einwirkungen einer weichen Zwischenschicht.

Die Versuche haben ergeben, daß bei Einlagerung einer weichen Schicht eine tieferreichende Zerstörung stattfindet und über Druckformen starke seitliche Kräfte auftreten. In der Natur wird allgemein beobachtet, daß eine weiche Schicht im Hangenden oder Liegenden eines Flözes eine völlige Veränderung im gesamten Verhalten hervorzurufen und den Gang der Kohle erheblich zu beeinflussen vermag. Beim Abbau zweier Flöze in geringem Abstand wird stets eine starke gegenseitige Beeinflussung festgestellt, indem sich die Abbauwirkungen des einen Flözes bis in die Nachbarschichten des zweiten erstrecken. Das zweite Flöz übt hier die gleiche Wirkung wie die weiche Schicht im Versuch aus, was eine tiefgehende Zerstörung zur Folge hat. Ende[3] beschreibt einen Fall, in dem trotz 25 m mächtiger fester Zwischenschichten der Flözkörper des obern Flözes durch den Abbau des untern in Mitleidenschaft gezogen worden ist. Diese starke Beeinflussung ist zuerst aus dem oberbayerischen Pechkohlenbergbau bekannt geworden, wo die beiden Flöze zusammen gebaut werden müssen, weil beim Nachbau des einen Flözes dieses nicht unter wirksamem Abbaudruck steht und daher sehr fest und schwer gewinnbar ist[4]. Die gleiche Beobachtung hat Esser[5] bei der Untersuchung der gegenseitigen Einwirkung beim Abbau zweier oberschlesischer Sattelflöze gemacht. Das Hartwerden ist dadurch zu erklären, daß das zweite Flöz innerhalb der entspannten

[1] a. a. O.

[2] Glückauf 72 (1936) S. 642, Abb. 6.

[1] Müller, a. a. O.

[2] Boileau: Les accidents par éboulements et le soutènement métallique, Rev. Ind. minér. 1926, Mémoires S. 211; Colliery Guard. 133 (1927) S. 871.

[3] Ende: Bildung von Drucklagen und Schlechten in Steinkohlenflözen, Glückauf 65 (1929) S. 1653.

[4] Langecker: Nutzbarmachung des Gebirgsdruckes für die Kohlengewinnung, Glückauf 64 (1928) S. 1409.

[5] Esser: Die gegenseitige Beeinflussung der oberschlesischen Sattelflöze bei ihrem Abbau, Glückauf 71 (1935) S. 365.

Zone des Gewölbes liegt, das sich um das erste Flöz gebildet hat. Diese Annahme spricht zunächst allgemein für die Ausbildung eines Gewölbes und deckt sich mit den Versuchsergebnissen, die ein Höherwandern der Gewölbelinie infolge einer weichen Schicht erkennen lassen.

Neben der Tiefenwirkung werden beim Versuch noch starke seitliche Kräfte beobachtet. Auch hierfür lassen sich Beispiele aus der Praxis anführen. Gaertner[1] schreibt, daß im 3. Wilhelmflöz der Wenceslausgrube selbst bei Versagen der Schrämmaschine ein guter Gang der Kohle festgestellt werden konnte, und folgert daraus, daß das durch die Dichte und Nähe des Bergeversatzes geregelte Absenkungsmaß und damit die Länge und Steilheit der Abbauwelle entsprechend der Beschaffenheit des Flözkörpers richtig getroffen worden seien, so daß die gesamte Gebirgsarbeit möglichst nutzbringend aufgewendet werde. Das Profil des Flözes zeigt, daß im unmittelbaren Hangenden weiche Schichten anstehen und darüber als Haupthangendes Sandstein folgt. Nach den Beobachtungen beim Versuch wird der Gang der Kohle nicht allein auf das glückliche Zusammenwirken sämtlicher Abbaueinflüsse, sondern eher auf die weiche Lettenschicht im Hangenden zurückzuführen sein, welche die gleiche Wirkung ausübt wie die weiche Schicht bei den Versuchen. Durch die seitliche Ablenkung der Kräfte wird die Bildung von Drucklagen und Schlechten in der Kohle und damit die Gewinnbarkeit günstig beeinflußt. Ein weiteres Beispiel für das Auftreten solcher Seitenkräfte bietet die nach einer Lichtbildaufnahme gezeichnete Abb. 29 von der Erweiterung eines Querschlages in der Fuchsgrube bei Waldenburg[2]. Hier ist ein fester Sandstein völlig verbrochen und seitlich in die Strecke hineingeschoben worden. Aus dem Schichtenprofil geht hervor, daß über dem Sandstein eine Folge weicher Schichten liegt, die als die Ursache derartig starker Seitenkräfte anzusehen ist und die Zerstörung des festen Sandsteines bewirkt hat. Hier läßt sich auch die von Spackeler[3] geschilderte Beobachtung vom Abbau des Pochhammerflözes anführen. Der Abbau ist dort über eine im Liegendsandstein aufgefahrene Strecke hinweggegangen, ohne daß man irgendwelche besondern Druckerscheinungen in der ohne Ausbau stehenden Strecke beobachtet hat. Auch hier sind die Druckkräfte durch ein 0,3 m mächtiges unbauwürdiges Flöz im Liegenden in die Waagrechte abgelenkt worden, so daß sich auf die Strecke nur ein geringer zusätzlicher Druck geltend gemacht hat.

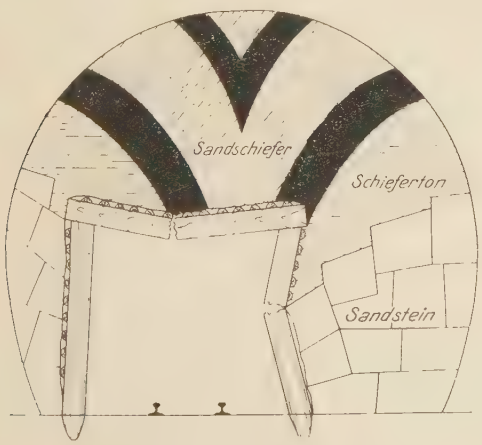


Abb. 29. Zerstörung einer festen Sandsteinschicht durch starke seitliche Kräfte.

[1] Gaertner: Abbau mit Selbstversatz, Glückauf 65 (1929) S. 697.
[2] Spackeler: Druck auf den Kohlenstoß, Glückauf 65 (1929) S. 1753.
[3] Spackeler: Druckwirkungen im Liegenden, Glückauf 66 (1930) S. 757.

Allgemeine Folgerungen.

Aus den vorstehenden Ausführungen geht hervor, daß im Bergbau dieselben Erscheinungen auftreten wie bei den Versuchen, aus deren Ergebnissen man daher Folgerungen für den Abbau ziehen kann.

Für die gesamte Gebirgsdrucktheorie ist die Tatsache wichtig, daß die Druckwirkungen im Hangenden und im Liegenden im wesentlichen gleich sind, da sich aus dem Verhalten der Hangendschichten oft Rückschlüsse auf eine Beanspruchung im Gestein ziehen lassen. Die Hangendschichten werden dabei als Platten angesprochen, die nach mechanischen Gesetzen eine Durchbiegung erfahren und sich hinter der Einspannstelle aufwölben. Diese Durchbiegung der Hangendschichten infolge ihrer Schwere wird als die Ursache der Rißbildung, der auftretenden Spannungen und einer Stoffabwanderung angesehen. Nach den Versuchen kann ihr aber nur eine untergeordnete Bedeutung zukommen, da den Bewegungen im Hangenden solche der Liegendschichten entsprechen, die entgegen der Schwerkraft erfolgen. Die Beobachtungen lassen in den meisten Fällen erkennen, daß mit einer Absenkung oder Hebung der Schichten eine Stoffzufuhr verbunden ist und daß in der Mitte der freien Fläche nicht, wie bei einer Biegungsbeanspruchung zu erwarten wäre, eine Zerrung, sondern eine Pressung auftritt. Diese Beobachtung ist in gleicher Weise bei Strecken (Abb. 30 und 31) und Abbauen gemacht worden[1]. Die Bewegungen und im Zusammenhang damit die Rißbildungen im Gestein sind auf die Entstehung der verschiedenen Spannungszonen zurückzuführen. Der Ausgleich der Spannungen erfolgt durch Gebirgsbewegungen auf schrägen Flächen, welche die Begrenzung der einzelnen Zonen bilden und als Scherflächen anzusprechen sind. Die Beobachtungen untertage lehren, daß weiche Gesteine stärkere Bewegungen hervorrufen als harte. Bei hartem Gestein weist die Kernzone steile Flanken und damit auch große Flächen auf, so daß hier geringe Bewegungen große Druckkräfte aufzunehmen vermögen. Bei weichem Gestein wird, da kleinere Flächen die Begrenzung des stumpfern Druckkeiles bilden, eine stärkere Bewegung zum Ausgleich des Spannungsunterschiedes erforderlich sein.

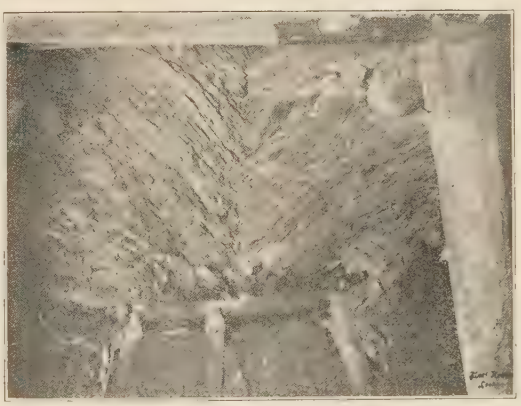


Abb. 30. Einpressung des Hangenden in den Hohlraum auf der Grube Seegraben bei Leoben.

[1] Bärtling: Gebirgsdruckwirkungen beim Abbau von Steinkohlenflözen, Glückauf 65 (1929) S. 735.

Eine Bestätigung für die Bewegungen als Folge derartiger Pressungszonen bieten die genauen Messungen von Weißner[1]. Er hat bei den untersuchten Abbauen einerseits Steilbewegungen (Senkung der Firste und Hebung der Sohle) und anderseits waagrechte Bewegungen (Verschiebungen in der Flözebene) festgestellt und außerdem die Bewegung der Hangend- und Liegendschichten zum Versatz hin nachgewiesen. Nach dem vorher Gesagten beruht diese auf der Zone erhöhter Pressung über und unter dem Kohlenstoß; sie muß eine Unterbrechung erfahren, wenn der Versatz tragend geworden ist und sich darüber eine Pressungszone ausgebildet hat, die derjenigen über dem Stoß entgegenwirkt. Auch diese Gegenbewegung ist beim Abbau mit Versatz von Weißner nachgewiesen worden; er spricht dabei von einem Versatzschub, der dem Stoßschub entgegenarbeitet. Beim Abbau ohne Versatz sind diese Gegenbewegungen nicht gemessen worden.

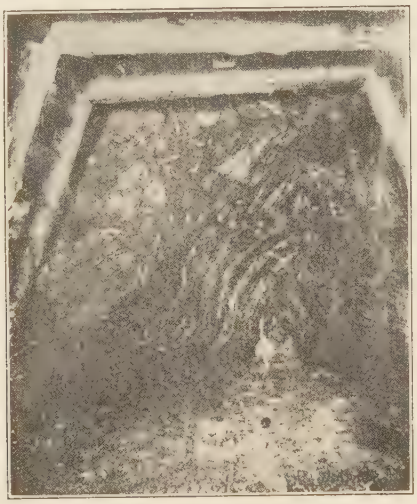


Abb. 31. Einpressung der Liegendschichten in den Hohlraum auf den Schöllerschächten in Kladno (Aufnahme von Spackeler).

Hinsichtlich der Ursache der Bewegungen ergibt sich danach, daß unter dem Einfluß des allgemeinen Spannungszustandes über Druckplatten, wie sie beim Abbau der feste Stoß und der festgepreßte Versatz bilden, keilförmige Kernzonen mit zusätzlicher Pressung entstehen. Der Druckausgleich erfolgt durch Bewegung infolge der auftretenden Scherspannungen, welche die Bildung von Rissen im Nebengestein und in der Kohle selbst zur Folge haben. Die Pressungszone beginnt nicht an der offenen Seite des Kohlenstoßes, sondern erst weiter über dem festen Stoß, da die Kohle an der offenen Fläche entspannt ist und keinen Gegendruck auszuüben vermag. Somit wird die Rißbildung ebenfalls bereits über dem festen Stoß beginnen.

Für die Praxis kann man aus den angeführten Ergebnissen gewisse Folgerungen ziehen. Eine geeignete Versatzart bietet die Möglichkeit, den auftretenden Versatzschub zu beeinflussen. Bei einem bis dicht an den Stoß herangeführten Versatz wird dieser Schub groß sein und der Druckausgleich zwangsläufig zu einer stärkern Steilbewegung führen. Beim Abbau ohne Versatz werden die stärksten Bewegungen nach dem ausgekohlten Raum hin erfolgen. Bergerippen stören dabei wieder die seitliche Abwanderung und geben vor allem Veranlassung zur Bildung von Kernzonen mit erhöhter Pressung, die beim Abbau benachbarter Flöze sehr störend in Erscheinung treten können. Beim Abbau mehrerer Flöze kann es von Vorteil sein, gleichzeitig zu verhauen, wobei der eine Stoß dem andern um einen gewissen Betrag vorauseilen muß. Der günstigste Fall liegt dann vor, wenn der eine Stoß in einer der beiden Wirkungslinien des andern steht, da hier durch den Druckausgleich zwischen zwei Pressungszonen die stärkste Bewegung eintritt, welche die Gewinnung der Kohle erleichtern wird.

Bei schwachen Flözen macht sich neben der Drucklagenbildung und deren Einwirkung auf den Gang der Kohle noch der Kämpferdruck stark geltend, der hier kurz hinter der Stoßfront liegt und die Kohle in den freien Raum preßt. Bei mächtigen Flözen kommt dem Kämpferdruck nicht die gleiche Bedeutung zu, da er hier infolge der stärkern zahlenmäßigen Zusammendrückbarkeit des Flözes weiter hinter der Abbaufront auftritt.

Für die Lebensdauer von Strecken sind auch die Begleitschichten und der gesamte Schichtenaufbau von Bedeutung. Eingelagerte weiche Schichten können als Schutzschicht wirken, indem sie den Abbaudruck eines Feldes seitlich ablenken; anderseits können sie aber auch, wenn die Strecke innerhalb dieser Pressungszone steht, zu einer frühzeitigen Zerstörung des Ausbaus führen.

Zusammenfassung.

Mit Hilfe einer Versuchsanordnung, welche die Druckverhältnisse untertage nachbildet, werden die Wirkung von Druck- und Hohlformen in allseitig gespanntem Gestein und die Einflüsse weicher Zwischenschichten untersucht. Der Vergleich der bei diesen Versuchen festgestellten Druckkräfte, Bewegungsvorgänge und Rißbildungen mit den Erscheinungen in der Natur läßt eine Übereinstimmung zwischen diesen und der versuchsmäßigen Nachbildung erkennen, so daß die Versuchsergebnisse zur Klärung von Gebirgsdruckfragen beitragen. Als Hauptergebnisse dieser Gegenüberstellung sind folgende Punkte hervorzuheben: 1. Die Bildung von Spannungszonen mit verschiedener Druckverteilung über einer Druckform ist die Ursache der Bewegungsvorgänge und der Rißbildung in Kohle und Nebengestein. 2. Die Ausbildung von Gewölben um Hohlformen ist eine allgemeingültige Erscheinung und die Gestaltung der Gewölbelinie von den Eigenschaften der Auflageflächen abhängig. 3. Weiche Schichten bewirken eine tiefergehende Zerstörung des Gebirges und haben überdies eine starke seitliche Ablenkung der auftretenden Druckkräfte zur Folge.

Die Untersuchungen haben ferner die Abhängigkeit der Scherfestigkeit vom Spannungszustand und die Möglichkeit einer Beeinflussung der Kohlengewinnung durch elastische Nachwirkungen der Spannungen im Gestein erwiesen.

[1] Weißner: Gebirgsbewegungen beim Abbau flach gelagerter Steinkohlenflöze, Glückauf 68 (1932) S. 945.

Druck von C. W. Haarfeld, Kom.-Ges., Essen.

Lebenslauf

Ich wurde am 14. März 1912 als Sohn des Stadtinspektors Georg Dommann in Kohlfurt, Kreis Görlitz, geboren. Nach vierjährigem Besuch der Ortsschule trat ich in die Sexta des Reform-Realgymnasiums in Görlitz ein und blieb an dieser Anstalt bis zur Reifeprüfung im Jahre 1931. Danach leistete ich das für das Bergbaustudium vorgeschriebene halbe Jahr praktischer Ausbildung unter Leitung der Bergbehörde in Waldenburg (Schles.) ab und wurde im Wintersemester 1931 an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg immatrikuliert. Im Wintersemester 1932 ließ ich mich an der Technischen Hochschule Breslau einschreiben und bestand im Oktober 1935 die Diplomhauptprüfung in der Fachrichtung Bergbau. Seit dem 1. November 1935 bin ich als außerplanmäßiger Assistent am Lehrstuhl für Bergbaukunde und Bergwirtschaftslehre an der Technischen Hochschule Breslau tätig.